

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 33 729.2

Anmeldetag: 24. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: SGL CARBON AG,
Wiesbaden/DE

Bezeichnung: Faserverstärkte keramische Bremsbeläge

IPC: F 16 D, C 04 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. März 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faserverstärkte keramische Bremsbeläge

Die Erfindung betrifft faserverstärkte keramische Bremsbeläge.

5 Herkömmliche Bremssysteme bestehen aus Bremszange, einer Scheibe aus Gußeisen oder Stahl sowie Bremsbelägen, die überwiegend mit Phenolharzen gebundene Reibmittel oder Sintermetalle enthalten. Wird die metallische Bremsscheibe durch keramische Systeme ersetzt, insbesondere durch Brems Scheiben aus C/SiC (mit Kohlenstoffasern verstärkter Keramik, deren Matrix Siliciumcarbid sowie elementares Silicium und Reste von nicht umgesetztem Kohlenstoff enthält), so erhöht sich aufgrund höherer Reibwerte, geringerer Wärmeleitfähigkeit und geringerer Wärmekapazität der Scheibe die Oberflächentemperatur der Brems-
10 scheibe und des Bremsbelages um mindestens 200 K. Der Verschleiß herkömmlicher Bremsbeläge steigt durch die thermische Belastung stark an. Mit Phenolharz gebundene Bremsbeläge sind der thermischen Zersetzung ausgesetzt, Sintermetallbremsbeläge schmelzen an der
15 Oberfläche auf. Diese Nachteile können vermieden werden, wenn Bremsbeläge eingesetzt werden, die den erhöhten thermischen Ansprüchen der Systeme mit keramischen Brems Scheiben gerecht werden.

Die Verwendung von faserverstärkten C/SiC-Bremsbelägen in Verbindung mit keramischen
20 Bremsscheiben aus C/SiC ist aus der Patentanmeldung DE-A 197 27 586 bekannt. Das wesentliche Element dieser Erfindung ist die Verwendung desselben Materials für beide Reibpartner, Bremsscheibe und Belag. C/SiC-Bremsscheiben werden somit mit einem artgleichen Bremsbelag gepaart. Der Bremsbelag soll jedoch eine geringere Härte aufweisen als die korrespondierende Bremsscheibe. Dies wird dadurch erreicht, daß der C/C-Körper des Brems-
25 belages vor der Silicierung eine höhere Dichte aufweist als derjenige der Bremsscheibe, wodurch er nach der Silicierung einen geringeren SiC-Gehalt besitzt. Bevorzugt sind die

Fasern des Bremsbelages isotrop ausgerichtet, wodurch eine gleichmäßige Wärmeleitfähigkeit quer zur Bremsfläche erzielt werden soll.

5 In Hochleistungsbremssystemen mit Keramikbrems scheiben und keramischen Bremsbelägen, nehmen die Beläge vergleichsweise hohe Bremsenergien auf, daraus resultiert eine erhebliche Erhitzung des Bremsbelages. Während das Belagsmaterial im allgemeinen auf hohe Betriebstemperaturen ausgelegt ist, bereitet es technische Schwierigkeiten, auch den Brems-
10 schuh, den Belagträger und den Bremskolben so auszuführen, daß diese hohe Betriebstemperaturen überstehen. Insbesondere führt eine längere thermische Belastung zur Überhitzung der Bremsflüssigkeit und der Elastomerringe um die Kolben.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, einen hochtemperaturbelastbaren keramischen Bremsbelag für Brems scheiben insbesondere mit keramischer Reibfläche bereitzustellen, der
15 auch bei hoher thermischer Belastung der Reibpaarung eine möglichst geringe Wärmemenge auf den Bremsbelagträger, Bremsschuh und -kolben überträgt.

Die Lösung der Aufgabe besteht darin, daß ein Bremsbelag mit stark anisotroper Wärmeleitung bereitgestellt wird, wobei die Wärmeleitung parallel zu den Reibflächen der
20 Bremsbeläge deutlich größer als die in der Richtung der Flächennormalen der Reibfläche ist, also senkrecht zu dieser.

Die Erfindung betrifft daher einen mit Kohlenstoffasern verstärkten keramischen Bremsbelag mit einer Matrix, die im wesentlichen aus Siliciumcarbid, sowie Silicium und/oder Kohlenstoff aufgebaut ist, wobei als Verstärkungsfasern Langfasern eingesetzt werden, die in
25 der Ebene parallel zur Reibfläche ausgerichtet sind, so daß sich eine stark anisotrope Wärmeleitung des Bremsbelages ergibt, und wobei bevorzugt die Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Reibfläche bei höchstens 50 % der Wärmeleitfähigkeit parallel zur Reibfläche liegt. Der erfindungsgemäße Bremsbelag kann dabei durch das kostengünstige Verfahren der Siliciumschmelzinfiltration von mit Kohlenstoffasern verstärkten Kohlenstoff-Körpern
30 ("C/C-Körper") gewonnen werden.

Dabei wird von einer Ausrichtung parallel zur Reibfläche gesprochen, wenn der Mittelwert über alle Fasersegmente des zwischen der Reibfläche und jeweils einem geraden Fasersegment eingeschlossenen Winkels nicht mehr als 10° , bevorzugt nicht mehr als 5° , und insbesondere nicht mehr als 3° beträgt.

5

Es wird von einer Matrix gesprochen, die im wesentlichen aus Siliciumcarbid, sowie Silicium und/oder Kohlenstoff aufgebaut ist, wenn die Summe der Anteile der genannten Stoffe mindestens 50 % von der Masse der Matrix, bevorzugt mindestens 60 %, und insbesondere mindestens 70 % beträgt.

10

Die Erfindung betrifft weiter einen Bremsbelag aus faserverstärktem C/SiC, wobei die Verstärkungsfasern in Form von mehreren Kohlenstoffasergewebematten vorliegen, die übereinandergestapelt sind. Zur Herstellung eines derartigen Belags wird der C/C-Vorkörper bevorzugt zumindest einmal mit pyrolytischem Kohlenstoff nachverdichtet, der bevorzugt über eine Flüssiginfiltration mit einem carbonisierbaren organischen Material gebildet wird.

15

Die Erfindung betrifft weiter die Kombination eines derartigen Bremsbelags mit einer faserverstärkten C/SiC-Bremsscheibe.

20

Für den erfindungsgemäßen Bremsbelag ist eine Faserverstärkung erforderlich, die zu einer hohen Anisotropie der Wärmeleitung führt, wobei insbesondere wichtig ist, eine möglichst geringe Wärmeleitung senkrecht zur Reibfläche zu erreichen.

25

Als Verstärkungsfasern werden daher Langfasern aus Kohlenstoff eingesetzt, die eine höhere thermische Leitfähigkeit als die SiC, Si und C enthaltende Matrix aufweisen. Die Fasern können in bevorzugter Weise auch in Form von Bündeln vorliegen, wobei ein Bündel mindestens ca. 100 Einzelfasern umfaßt. Unter Langfasern werden hier Fasern verstanden, die eine mittlere Länge von mindestens 10 mm, bevorzugt von mindestens 30 mm aufweisen. Die Länge der Fasern ist bevorzugt in der gleichen Größenordnung wie die äußeren Abmessungen des Reibbelagskörpers. Besonders bevorzugt sind die einzelnen Fasern oder Faserbündel so

30

lang, daß sie den Reibbelagskörper ohne Unterbrechung von der einen Seite bis zur gegenüberliegenden Seite durchqueren.

Die Anisotropie der Wärmeleitung wird dadurch eingestellt, daß die Kohlenstoffasern im wesentlichen in einer Ebene parallel zur Reibfläche ausgerichtet sind. Diese Faserausrichtung steht im Gegensatz zu der überwiegend isotropen Faserausrichtung der aus der Patentanmeldung DE-A 197 27 586 bekannten Reibbeläge und des als Reibgegenkörper bevorzugten kurzfaserverstärkten C/SiC.

Gegenüber den kurzfaserverstärkten C/SiC-Werkstoffen ist bei einem mit Langfasern verstärkten C/SiC die Wärmeleitfähigkeit in Faserrichtung daher besser, weil der Wärmetransport in dieser Richtung weniger oft durch die schlechter wärmeleitende Matrix unterbrochen wird.

Die Langfasern werden in Form von mindestens einer Lage von unidirektionalen oder multidirektionalen Gelegen, Matten, Geweben oder Geflechten eingesetzt. Im Falle von mehreren Lagen sind diese übereinandergestapelt. Diese Fasern sind im wesentlichen parallel zur Reibfläche ausgerichtet sind, so daß die Wärmeleitfähigkeit parallel zur Reibfläche höher ist als senkrecht hierzu.

Bevorzugt liegt die Wärmeleitfähigkeit des Bremsbelags parallel zur Reibfläche bei mindestens 21 W/m·K, besonders bevorzugt bei mindestens 25 W/m·K und insbesondere bei mindestens 40 W/m·K. Seine Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Reibfläche liegt bevorzugt bei höchstens 19 W/m·K, besonders bevorzugt bei höchstens 15 W/m·K und insbesondere bei höchstens 10 W/m·K. In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung liegt die Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Reibfläche bei höchstens 50 % der Wärmeleitfähigkeit parallel zur Reibfläche. Je dicker der Bremsbelag ist, desto größer ist seine Wärmekapazität, so daß er bei einem Bremsvorgang mehr Wärme aufnehmen kann. Daher können bei zunehmender Materialdicke auch höhere Absolutwerte der Wärmeleitfähigkeit in der Richtung senkrecht zur Reibfläche toleriert werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung enthält der Bremsbelag mindestens 5, besonders bevorzugt 10 bis 50 übereinandergeschichtete Lagen aus Kohlenstoffasergewebe. Die Wärmeleitfähigkeit des Bremsbelags senkrecht zur Reibfläche bei dieser Anordnung wird bevorzugt auf 4 bis 12 W/m·K eingestellt.

5

Reibwert und Reibkomfort des Belagsmaterials werden insbesondere durch Gehalt an SiC, Kohlenstoff und Kohlenstoffasern in der Reibfläche bestimmt. Bevorzugt werden daher Reibbeläge, in denen die oberste, der Reibung ausgesetzte Schicht einen Volumenanteil von mindestens 50 % Kohlenstoffasern enthält. Bevorzugt liegt der Massenanteil von Siliciumcarbid in dem Material des erfindungsgemäßen Bremsbelags bei mindestens 10 %, besonders bevorzugt liegt dieser Massenanteil im Bereich von 12 bis 25 %.

10

15

20

Die Wärmeleitfähigkeit des Reibmaterials wird auch durch die Zusammensetzung der Matrix bestimmt, die überwiegend aus Si und SiC gebildet wird. Die Wärmeleitfähigkeit der reinen Substanzen beträgt für Silicium ca. 14 W/m·K und für SiC ca. 90 W/m·K. Daher sind erfindungsgemäß solche Matrixzusammensetzungen günstig, die einen für C/SiC-Werkstoffe vergleichsweise hohen Si-Gehalt, also eine niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweisen, da hier der Effekt der Wärmeleitung durch die Fasern stärker zum Tragen kommt. Bevorzugt liegt der Massenanteil an Silicium in dem Material des erfindungsgemäßen Bremsbelags bei mindestens 10 % und besonders bevorzugt im Bereich von 12 bis 25 %. Dabei ist zu berücksichtigen, daß ein größerer Anteil von Silicium in der Reibschicht (der obersten Schicht des Bremsbelags) sowohl den Reibwert wie auch das Komfortverhalten ungünstig beeinflusst. Besonders bevorzugt weist die Reibschicht daher einen Siliciumgehalt auf, der geringer als der Gehalt an Siliciumcarbid ist.

25

30

Als weitere Bestandteile können dem Material des Bremsbelag Additive zugesetzt werden, die insbesondere zur Modifizierung des Reibwertes oder des Komfortverhaltens dienen, wobei deren Massenanteil im Material des Bremsbelags üblicherweise bei höchstens 5 % liegt. Die Additive sind bevorzugt bis zu dem bei dem bevorzugten Herstellungsprozeß durch Siliciumschmelzinfiltration thermisch stabil und büßen unter diesen Prozeßbedingungen ihre

Funktionalität nicht ein. Bevorzugte Additive sind duktile Metalle, wie zum Beispiel Kupfer, oder Hartstoffpartikel, wie zum Beispiel Wolframcarbid, Titancarbid, Molybdänsilicid und Chromcarbid, oder Schmierstoffe wie zum Beispiel Mangansulfid.

- 5 Die Additive können auch nach der Herstellung des C/SiC-Körpers durch Infiltration mit geschmolzenem Silicium eingebracht werden, im Fall von Metallen wie Kupfer als Additiven beispielsweise durch eine weitere Infiltration mit diesen Metallen. Wird die Oberfläche des C/SiC-Körpers vor dieser weiteren Infiltration geätzt oder oxidiert, steigt die Benetzungsfähigkeit durch flüssige Metalle, die in den Reibkörper eindringen und auch zumindest teilweise mit den Stoffen in dem C/SiC-Körper reagieren können.

- 10 Additive können auch in Form von Stiften oder quer und/oder längs zur Reibrichtung verlaufenden bis zur Trägerplatte reichenden Stäben eingebracht werden, wobei diese Stifte und/oder Stäbe bevorzugt aus dem genannten Additivmaterial bestehen oder Mischungen des genannten Additivmaterials mit dem Material der Matrix, gegebenenfalls unter Zusatz von Kurzfasern (mit einer Länge unterhalb der oben genannten) bevorzugt aus Kohlenstoff enthalten.

- 15 Neben der verringerten Wärmeleitfähigkeit des Reibmaterials senkrecht zur Reibfläche ergibt sich als weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Faserorientierung eine hohe mechanische Stabilität in der Hauptbelastungsrichtung der Beläge, welche in der Ebene der Reibfläche liegt. Dagegen weist ein isotrop faserverstärktes Material, wie ein mit Bündeln von Kurzfasern verstärktes C/SiC, keine bevorzugte Verstärkung innerhalb der zur Reibfläche parallelen Ebene auf.

- 20 25 Der erfindungsgemäße Bremsbelag wird zur Verwendung in einem aus Bremsbelag und Bremsscheibe bestehenden Bremssystem üblicherweise auf einem metallischen Träger, der Belagsplatte, befestigt. Dazwischen lässt sich gegebenenfalls ein thermischer Isolator anordnen, bevorzugt aus keramischem Material.

Der Bremsbelag wird in bekannter Weise mit der Belagsplatte verbunden, nämlich mittels Kleber fixiert und/oder mechanisch verankert. In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung wird der Belag durch mindestens zwei Verschraubungen mit der Belagsplatte verbunden. Die Verschraubung kann in dieser Ausführung auch als Verschleißindikator genutzt werden, indem die Schraubenköpfe nach dem bestimmungsgemäß vorgesehenen Abtrag des Reibmaterials in die Reibfläche gelangen und sich bei einem Bremsvorgang akustisch bemerkbar machen.

Die Belagsplatte zur Aufnahme des Bremsbelages ist bevorzugt so ausgestaltet, daß sie den Bremsbelag, der äußeren Belagskontur folgend, einfaßt. Dies geschieht durch eine Umrandung, die um ca. 0,5 bis 3 mm abgesetzt ist, wodurch der Bremsbelag einen zusätzlichen Halt bekommt.

Insbesondere die Kombination aus geringer thermischer Leitfähigkeit in der zur Reibfläche senkrechten Richtung und dem geringen Verschleiß des Reibmaterials ermöglicht den Einsatz vergleichsweise dünner Beläge. Dieser Vorteil läßt sich entweder zur Verringerung des Bauraums der Reibbelagskonstruktion, oder unter Beibehaltung des üblichen Bauraums für eine zusätzliche Lage eines thermischen Isolators nutzen. Dadurch können auch weitere Isolationsmaterialien hinter der Belagsplatte vorgesehen werden, ohne daß insgesamt mehr Bauraum benötigt wird. Als Isolationsmaterialien sind insbesondere keramische Materialien und/oder Fasermaterial auf der Basis von Silicium- und/oder Aluminium-Oxiden vorgesehen.

Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zur Herstellung der Bremsbeläge, umfassend die folgenden wesentlichen Schritte:

- a) Herstellen eines Fasergebildes aus im wesentlichen in einer Ebene angeordneten Kohlenstofffasern, die in Form von Einzelfasern, Faserbündeln oder Fasergarnen vorliegen können, wobei die Fasern und/oder Faserbündel oder Fasergarne mit einem carbonisierbaren Binder gebunden sind

- b) Formgebung und/oder Härtung des gebundenen Fasergebildes unter Druck und/oder Temperatur, gegebenenfalls gefolgt von einer Nachverdichtung mit carbonisierbaren Kohlenstoffprecursoren
- 5 c) Carbonisierung oder Graphitierung des gebundenen gehärteten Fasergebildes zur Herstellung eines Formkörpers aus mit Kohlenstoffasern verstärktem Kohlenstoff (C/C)
- 10 d) mindestens einmaliges Nachverdichten des C/C-Formkörpers mit pyrolytischem Kohlenstoff, der entweder durch Flüssigphaseninfiltration und nachfolgende Carbonisierung mit carbonisierbaren Kohlenstoffprecursoren oder durch Gasphaseninfiltration mit Kohlenstoff gebildet wird
- 15 e) Infiltrieren des nachverdichteten C/C-Formkörpers mit einer Silicium-Schmelze und partielle Reaktion des Silicium mit mindestens einem Teil des Kohlenstoffs in dem Formkörper zu Siliciumcarbid, so daß eine Verbundkeramik mit in einer Matrix aus SiC, Si und C eingebetteten Kohlenstoffasern entsteht (C/SiC).

20 Als "Kohlenstoffprecursoren" ("carbon precursors") werden hier solche Stoffe bezeichnet, die beim Erhitzen unter Ausschluß von Oxidationsmitteln unter Bildung eines Rückstandes zerfallen, der im wesentlichen (zu mehr als 50 % seiner Masse) aus Kohlenstoff besteht. Zu den zur Nachverdichtung des Kohlenstoffkörpers in den Schritten b) oder d) eingesetzten carbonisierbaren Kohlenstoffprecursoren, aus denen pyrolytischer Kohlenstoff gebildet wird, zählen insbesondere organische Polymere, bevorzugt Pech oder Phenolharze, aber auch 25 metallorganische Polymere, insbesondere siliciumorganische Polymere, wie Polysiloxane oder Polysilane. Die Carbonisierung erfolgt nach den bekannten Verfahren, bevorzugt aber bei Temperaturen im Bereich von 750 bis 950 °C im Stickstoffstrom.

Das Fasergebilde wird bevorzugt nach dem bekannten Prepreg-Verfahren hergestellt, bei dem mehrere mit Bindemittel imprägnierte Faserlagen aufeinandergestapelt werden. Als Bindemittel können beispielsweise Phenolharze eingesetzt werden.

- 5 Die Zugabe von Additiven erfolgt bevorzugt in den Schritten a) oder b).

10 Bei der Schmelzinfiltration des C/C-Körpers im Schritt e) wird üblicherweise eine Schmelze aus technisch reinem Silicium verwendet. Ebenso ist es aber auch möglich, der Schmelze geringe Mengen weiterer Metalle zuzusetzen, wie beispielsweise Titan, Chrom, Eisen, Kupfer und Molybdän, um die Reib- oder Verschleißigenschaften zu modifizieren. Silicium wird hier auch als Metall bezeichnet.

15 Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren hat den weiteren Vorteil, daß sich unter anderem der Reibkoeffizient in einfacher Weise über die Dichte und den Gehalt an freiem Kohlenstoff des C/C-Vorkörpers einstellen läßt, da dieser Gehalt an freiem Kohlenstoff im wesentlichen die Zusammensetzung der durch die Infiltration gebildeten Matrix bestimmt, insbesondere das Verhältnis der Massen von Silicium zu Siliciumcarbid. Dabei führen geringe Dichten des C/C-Vorkörpers mit entsprechend geringen Gehalten an freiem Kohlenstoff zu einem hohen Verhältnis der Massen von Si zu SiC.

20 Als bevorzugte Reibpartner des erfindungsgemäßen Bremsbelags werden Körper aus keramischen Werkstoffen eingesetzt. Hierbei sind insbesondere metall-keramische und faserverstärkte keramische Verbundwerkstoffe von Bedeutung.

25 Die für den erfindungsgemäßen Bremsbelag besonders bevorzugten Reibpartner sind Körper, die zumindest eine Reibschicht aufweisen, die im wesentlichen aus C/SiC besteht, wobei insbesondere kurzfaserverstärktes C/SiC bevorzugt ist. Verfahren zur Herstellung von Körpern mit derartigen kurzfaserverstärkten C/SiC-Reibschichten, insbesondere C/SiC-Bremscheiben, sind beispielsweise aus der DE-A 197 10 105 bekannt und umfassen unter anderem
30 die folgenden Schritte:

- a) Herstellen einer Mischung aus kurzgeschnittenen kohlenstoffhaltigen Fasern- oder Faserbündeln, die mit einer Beschichtung überzogen worden sein können, einerseits und Füllmitteln und/oder Bindemitteln wie beispielsweise Harz und/oder Pech andererseits,
- 5 b) Formgebung der Mischung unter Druck und/oder Temperatur
- c) Pyrolyse oder Graphitierung zur Herstellung eines Formkörpers, insbesondere eines Formkörpers aus mit Kohlenstoffasern verstärktem Kohlenstoff (C/C),
- d) Infiltrieren des Formkörpers mit einer Silicium-Schmelze und partielle Reaktion des Kohlenstoffs in dem Formkörper zu SiC, so daß eine Verbundkeramik mit in einer
10 Matrix aus SiC, Si und C eingebetteten kohlenstoffhaltigen Fasern entsteht (C/SiC).

Die Matrix kann abweichend von diesem Verfahren des Schrittes d) auch durch eine Gasphaseninfiltration (CVD, "Chemical Vapour Deposition", oder CVI, "Chemical Vapour Infiltration") unter Bildung von SiC oder durch die Pyrolyse von siliciumhaltigen präkeramischen Polymeren erzeugt werden, wobei ebenfalls ein Formkörper aus einer
15 Verbundkeramik mit in einer Matrix aus SiC, Si und C eingebetteten kohlenstoffhaltigen Fasern (C/SiC) gebildet wird.

Der Massenanteil an Siliciumcarbid in der Matrix des als Reibpartner für die Bremsbeläge bevorzugt eingesetzten C/SiC-Werkstoffs liegt bevorzugt bei mindestens 50 %. Besonders
20 bevorzugt weist der Reibpartner zumindest in der dem Bremsbelag zugewandten Schicht einen Massenanteil von Siliciumcarbid von mindestens 65 % und insbesondere von 80 bis 100 % auf.

25 Auch andere mit Kohlenstoffasern verstärkte carbidische Keramiken eignen sich als Reibpartner für den erfindungsgemäßen Bremsbelag.

Eine der bevorzugten Anwendungen des Reibmaterials liegt in deren Verwendung als Bremsbelag in Bremssystemen mit Bremsscheiben aus C/SiC, insbesondere mit
30 innenbelüfteten C/SiC-Bremsscheiben. Die erfindungsgemäßen Bremsbeläge können aber

auch in Kombination mit Bremsscheiben aus mit Kohlenstoffasern verstärktem Kohlenstoff ("carbon fibre reinforced carbon", CFC oder CFRC) eingesetzt werden.

5 Erfindungsgemäße Beläge lassen sich auch in anderen Reibpaarungen, beispielsweise in Reibungskupplungen, mit Vorteil verwenden.

-O-O-O-

5

Patentansprüche

1. Mit Kohlenstoffasern verstärkter keramischer Bremsbelag mit einer Matrix, die im wesentlichen aus Siliciumcarbid, sowie Silicium und/oder Kohlenstoff aufgebaut ist, dadurch gekennzeichnet, daß als Verstärkungsfasern Langfasern mit einer mittleren Länge von mindestens 10 mm eingesetzt werden, die in der Ebene parallel zur Reibfläche ausgerichtet sind.
2. Bremsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Reibfläche bei höchstens 50 % der Wärmeleitfähigkeit parallel zur Reibfläche liegt.
3. Bremsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkungsfasern in Form von mindestens einer Lage von unidirektionalen oder multidirektionalen Gelegen, Matten, Geweben oder Geflechten vorliegen, die im Falle von mehreren Lagen übereinandergestapelt sind.
4. Bremsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkungsfasern in Form von Bündeln vorliegen, wobei ein Bündel aus mindestens 100 Einzelfasern besteht.
5. Bremsbelag nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens 5 Lagen von Verstärkungsfasern übereinandergestapelt sind.
6. Bremsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmeleitfähigkeit parallel zur Reibfläche des Bremsbelags mindestens 21 W/m·K beträgt.
7. Bremsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Reibfläche des Bremsbelags höchstens 19 W/m·K beträgt.

8. Bremsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Massenanteil von Siliciumcarbid in dem Bremsbelag mindestens 10 % beträgt.
- 5 9. Bremsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Massenanteil von Silicium in dem Bremsbelag bei mindestens 10 % liegt.
- 10 10. Kombination von einer Belagsplatte und einem Bremsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Bremsbelag durch mindestens zwei Verschraubungen mit der Belagsplatte verbunden ist.
11. Kombination von einer Belagsplatte und einem Bremsbelag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Bremsbelag durch Verkleben mit der Belagsplatte verbunden ist.
- 15 12. Verfahren zur Herstellung von einem Bremsbelag nach Anspruch 1, umfassend die folgenden Schritte:
- a) Herstellen eines Fasergebildes aus im wesentlichen in einer Ebene angeordneten Kohlenstoffasern, die in Form von Einzelfasern, Faserbündeln oder Fasergarnen vorliegen können, wobei die Fasern und/oder Faserbündel oder Fasergarne mit einem carbonisierbaren Binder gebunden sind,
- 20 b) Formgebung und/oder Härtung des gebundenen Fasergebildes unter Druck und/oder Temperatur, gegebenenfalls gefolgt von einer Nachverdichtung mit carbonisierbaren Kohlenstoffprecursoren,
- c) Carbonisierung oder Graphitierung des gebundenen gehärteten Fasergebildes zur Herstellung eines Formkörpers aus mit Kohlenstoffasern verstärktem Kohlenstoff (C/C),
- 25 d) mindestens einmaliges Nachverdichten des C/C-Formkörpers mit pyrolytischem Kohlenstoff, der entweder durch Flüssigphaseninfiltration und nachfolgende Carbonisierung mit carbonisierbaren Kohlenstoffprecursoren oder durch Gasphaseninfiltration mit Kohlenstoff gebildet wird, und
- 30

e) Infiltrieren des nachverdichteten C/C-Formkörpers mit einer Silicium-Schmelze und partielle Reaktion des Silicium mit mindestens einem Teil des Kohlenstoffs in dem Formkörper zu Siliciumcarbid, so daß eine Verbundkeramik mit in einer Matrix aus SiC, Si und C eingebetteten Kohlenstoffasern entsteht (C/SiC).

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliciumschmelze im Schritt e) weitere Metalle ausgewählt aus Titan, Eisen, Chrom, Kupfer und Molybdän enthält.

14. Verwendung eines Bremsbelags nach Anspruch 1 in Kombination mit Bremsscheiben aus C/SiC.

15. Verwendung eines Bremsbelag nach Anspruch 1 in Kombination mit Bremsscheiben aus CFC.

16. Verwendung eines Belags gemäß Anspruch 1 als Reibbelag in einer Reibkupplung.

5

Zusammenfassung

Faserverstärkte keramische Verbundwerkstoffe

- 10 Mit Kohlenstoffasern verstärkter keramischer Bremsbelag mit einer Matrix, die im wesentlichen aus Siliciumcarbid, sowie Silicium und/oder Kohlenstoff aufgebaut ist, dadurch gekennzeichnet, daß als Verstärkungsfasern Langfasern mit einer mittleren Länge von mindestens 10 mm eingesetzt werden, die in der Ebene parallel zur Reibfläche ausgerichtet sind, Verfahren zu seiner Herstellung und Verwendung in Kombination mit Bremsscheiben
- 15 aus C/SiC oder CFC oder als Belag in Reibkupplungen